



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA KRYTKY

PRODUCTION OF STEEL COVER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominika Nyékyová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2018

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Studentka: **Dominika Nyékyová**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba krytky

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na výrobu krytky rotačního tvaru technologií zpětného tažení.

### Cíle bakalářské práce:

Vypracování literární studie technologie zpětného tažení, doplněné příklady součástí obdobného tvaru a jejich využití v praxi.

Součástí práce bude technologický postup výroby zadané součásti, doplněné o technologické výpočty.

Zhodnocení a závěry.

### Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 08-311-3182-9.

VALBERG, S. Henry. Applied Metal Forming: Including FEM analysis. New York: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-51823-9.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. Technologie II. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

NYÉKYOVÁ Dominika: Výroba krytky.

---

Práca predpokladá vypracovanie literárnej štúdie na tému technológie ťahania so zameraním na spätné ťahanie a návrh technológie výroby krytky z materiálu DC05. Práca obsahuje technologické výpočty zadanej súčiastky potrebné pre jej zhotovenie a prevedenie simulácie procesu ťahania.

Kľúčové slová: spätné ťahanie, ťahanie bez stenčenia steny, materiál DC05, rotačná súčiastka

## **ABSTRACT**

NYÉKYOVÁ Dominika: Production of steel cover.

---

The project elaborated a literary study on deep drawing technology with a focus on reverse re-drawing operation and design of technology production of steel cover made of DC05 material. The thesis includes the technological calculations of the component required for its construction and simulation of the drawing process.

Keywords: reverse redrawing, pure drawing, material DC05, cylindrical component

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

NYÉKYOVÁ, Dominika. *Výroba krytky*. Brno, 2018. 32s, 1 výkres, 1 příloha, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Týmto prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracovala samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácii a pod vedením vedúcej bakalárskej práce.

V Brne dňa 16.5.2018

.....  
Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem pani Ing. Michaele Císařovej, Ph.D. za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania bakalárskej práce. Veľké poďakovanie patrí aj mojim rodičom a všetkým blízkym, ktorí ma podporovali pri štúdiu na vysokej škole.

## OBSAH

Zadanie	
Abstrakt	
Bibliografická citácia	
Čestné prehlásenie	
Podakovanie	
Obsah	
ÚVOD .....	9
1 ROZBOR SÚČIASTKY .....	10
1.1 Varianty výroby .....	10
2 TECHNOLOGIA ŤAHANIA .....	12
2.1 Základné operácie ťahania .....	13
2.2 Spätné ťahanie .....	13
2.3 Veľkosť prístrihu .....	16
2.4 Sila a práca.....	16
2.5 Ťažná medzera .....	18
2.6 Redukcia pri ťahaní, súčiniteľ a stupeň ťahania .....	19
2.7 Počet ťažných operácií .....	20
2.8 Nástroje vhodné pre ťahanie.....	21
2.9 Stroje.....	23
2.10 Mazivá .....	23
2.11 Vady pri ťahaní.....	24
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY .....	25
3.1 Výpočet priemeru prístrihu.....	25
3.2 Určenie počtu ťažných operácií a potreba pridržiavača .....	26
3.3 Určenie sily a práce .....	27
3.4 Parametre nástroja .....	28
3.5 Voľba stroja .....	28
3.6 Postup výroby .....	29
3.7 Simulácia ťahania .....	29
ZÁVERY .....	32
Zoznam použitých zdrojov	
Zoznam použitých symbolov a skratiek	
Zoznam príloh	
Zoznam výkresov	



## ÚVOD [1], [2], [3]

Tvárnienie je veľmi využívanou technológiou výroby rôznych súčiastok pre svoju využiteľnosť ako v konvenčnej, tak aj nekonvenčnej oblasti. Oproti metódam trieskového obrábania je vzniknutý odpad minimálny, súčiastky majú vyššiu pevnosť a väčšinou aj nižšiu hmotnosť. Táto technológia sa delí na dve oblasti, ktorými sú objemové a plošné tvárnenie.

Ťahanie patrí medzi plošné tvárnenie a je jednou z najpoužívanějších technológií pre spracovanie plechov. Využíva sa v mnohých odvetviach priemyslu ako je napríklad automobilový, letecký priemysel a mnohé ďalšie. Príklady súčiastok vyrobených ťahaním sú na obrázku 1.



Obr. 1 Príklady výtlačkov [1], [2]

## 1 ROZBOR SÚČIASTKY [4], [5]

Tento typ súčiastky možno v praxi využiť ako zátku pre potrubie tam, kde použitie plastového uzáveru nie je vhodné. Zadaná súčiastka má priemer 170 mm, hrúbku steny 2 mm a hĺbku 70 mm. Kompletne zakótovaná súčiastka je na výkrese BP-2018-04-001. Na obrázku 2 je model zadanej súčiastky, ktorá bude vyrobená z materiálu DC05, čo je nelegovaná, nízkouhlíková, ťažná oceľ, ktorá je vyrábaná valcovaním za studena a následne môže byť pozinkovaná, čo vytvorí jej koróznú odolnosť. Táto oceľ je vhodná k tvárneniu za studena, ťahaníu a lakovaniu. Od dodávateľov je dodávaná v hrúbkach od 0,6 mm do 4 mm. Využíva sa na výrobu dielcov strojov, karosérií, strešných krytín, krytovania spotrebičov atď. Chemické zloženia a mechanické vlastnosti sú uvedené v tabuľkách 1 a 2.



Obr. 2 3D model zadanej súčiastky

Tab. 1 Chemické zloženie materiálu DC05 [6].

chemické zloženie [%]	C	Mn	P	S
	max 0,06	max 0,35	max 0,025	max 0,025

Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu DC05 [6].

Značka oceli	Maximálna tvrdosť [HV]	Pevnosť v ťahu Rm [MPa]	Medza klzu [MPa]	Ťažnosť [%]
DC05	100	270–330	180–200	39

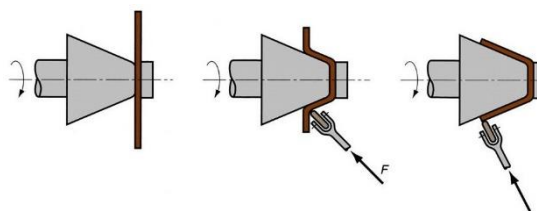
### 1.1 Varianty výroby [7], [8], [9]

Zadaná súčiastka sa dá vyrobiť rôznymi metódami. Pri výbere najvhodnejšej je nutné myslieť na kritériá, ktoré musí daná technológia spĺňať. Sú nimi prijateľné výrobné časy, dostávajúca akosť povrchu, cena, efektívnosť výroby a ďalšie.

Daná súčiastka by sa dala vyrobiť obrábaním. Táto technológia ale nesplňuje podmienku prijateľnej ceny a efektívnosti výroby, pretože pri výrobe súčiastky tohto tvaru by vzniklo enormne veľa odpadu vo forme triesok. Ďalšou možnosťou výroby by bolo tlakové liatie, lenže pri tejto technológii by nemusela byť zaručená pevnosť, vzhľadom k relatívne tenkej stene súčiastky.

Najvhodnejšími spôsobmi, ktoré splňujú vyššie uvedené kritériá sú:

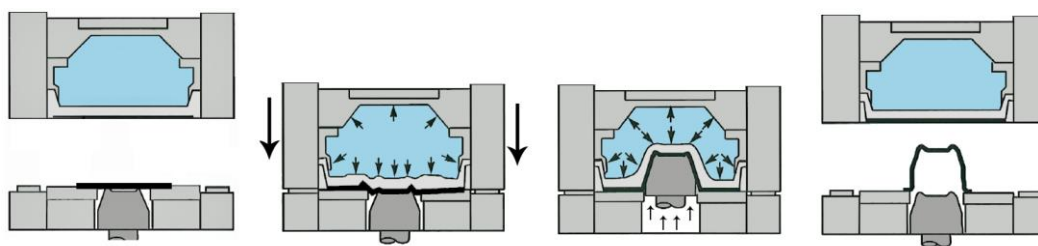
- Kovotlačenie – proces, pri ktorom nástroj tlačí na osovo symetrický polotovár a postupne ho tvárni, ako je to zobrazené na obrázku 3. Vnútny tvar výlisku odpovedá vonkajšiemu tvaru tzv. tvárnice. Pre kovotlačenie sa používajú moderné stroje, ktoré sú



Obr. 3 Schéma kovotlačenia [37]

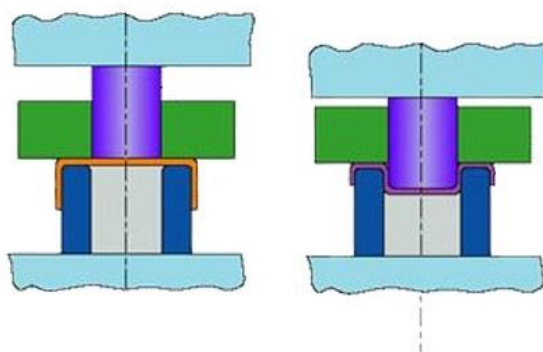
riadené pomocou CNC alebo špeciálne upravené sústruhy. Nevýhoda metódy spočíva v obmedzenej hrúbke plechu, ktorá sa dá tvárniť a v probléme výroby zložitých tvarov.

- Hydroform – nekonvenčná metóda, pri ktorej je ťažnica nahradená kvapalinou, čo umožňuje, že na tvárnenie veľmi zložitých výťazkov postačí iba zmena ťažníka. Ich presnosť je zaistená pomocou prídavného tlaku, ktorý kalibruje výsledný tvar. Táto metóda sa vo veľkej miere využíva v leteckom priemysle. Nevýhodami tejto metódy sú vysoká cena za celé zariadenie, dlhé výrobné časy a obťažné zaistenie tesnosti sústavy. Princíp metódy je na obrázku 4.



Obr. 4 Princíp metódy Hydroform [9]

- Spätné ťahanie – polotvarom je súčiastka vytvorená ťahaním, ktorá sa otočí a ťahá v opačnom smere ako bola pôvodne ťahaná, obr. 5. Pri tejto metóde sa dosahuje väčšej redukcie priemeru ako pri obyčajnom ťahaní a materiál je menej namáhaný. Ďalšou výhodou je rýchlosť výroby a vysoká produktivita.



Obr. 5 Schéma spätného ťahania [38]

Najvhodnejšou metódou pre výrobu zadanej súčiastky je výroba pomocou spätného ťahania. Predpokladom je, že touto metódou sa vyrobí za najkratší čas a dosiahne najlepších mechanických vlastností. Ďalšie časti práce sa budú zaoberať literárnou štúdiou technológie ťahania so zameraním na spätné ťahanie a návrhom výroby zadanej súčiastky.

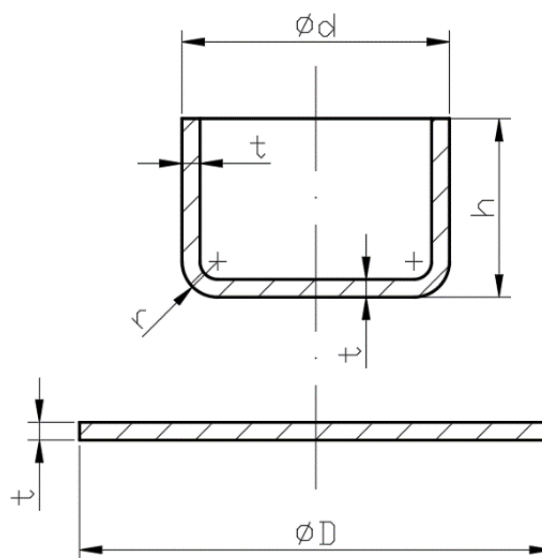
## 2 TECHNOLOGIA ŤAHANIA [7], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Ťahanie je technologický proces umožňujúci vytvoriť trvalým pretvorením z prístrihu duté teleso, ktoré sa nazýva výťazok, vid' obrázky 6 a 7. Vykonáva sa z rovinného prístrihu s priemerom  $D$  a hrúbkou  $t$ . Vzniknutý výťazok má priemer  $d$  a výšku  $h$ .

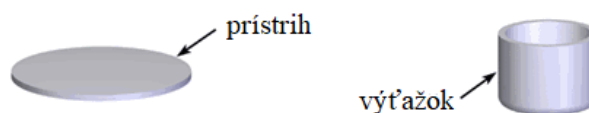
Je to formovanie plochého dvojrozmerného prístrihu z tenkého plechu na trojrozmerný výťazok, ktorý nemusí byť len kruhový a hranatý, ale môže mať aj veľmi zložitý tvar.

Táto technológia patrí do plošného tvárnenia a je jednou z najdôležitejších procesov slúžiacich na pretváranie plechu. Je veľmi využívaná pri veľkosériových výrobných nákladoch, dobrá kvalita povrchu, nízka hmotnosť a tuhosť. Vytvárajú sa ňou rôzne priestorové súčiastky z plechu ako napríklad časti karosérií (obr. 8), trupy lodí, lietadiel, kuchynský riad, sanitárne vybavenie a mnohé ďalšie.

Ťahanie plechu sa vykonáva ťahadlom skladajúcim sa z ťažníka a ťažnice (obr. 9). Prístrih je umiestnený nad dutinu ťažnice. Ťažník spolu s pridržiacom, ktorý zabraňuje krajom výťazku aby sa nevhodne deformovali a vznikalo tak zvlneenie hrdla, tlačí na povrch výťazku a ten je ťahaný cez otvor ťažnice. Ten je zaoblený polomerom  $r_p$ . Pomocou jednej operácie sa vytvárajú jednoduché a plyké tvary, hlbšie a komplikovanejšie výťazky sa ťahajú v dvoch a viacerých ťahoch.



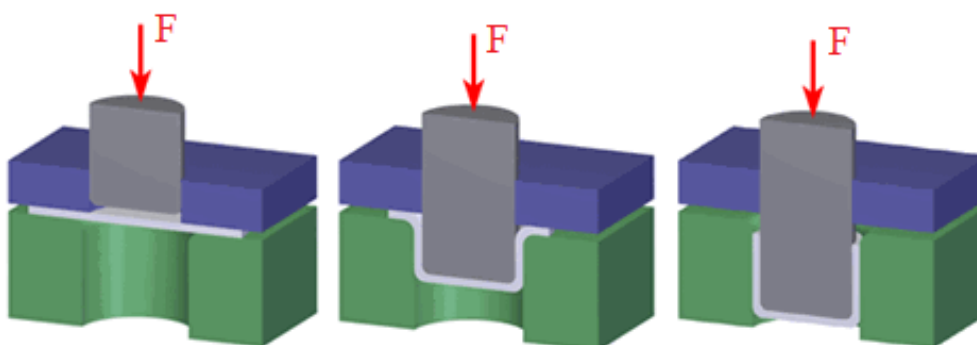
Obr. 6 Prístrih a výťazok [16]



Obr. 7 Model prístrihu a výťazku [34]



Obr. 8 Časť karosérie vyrobená ťahaním [36]

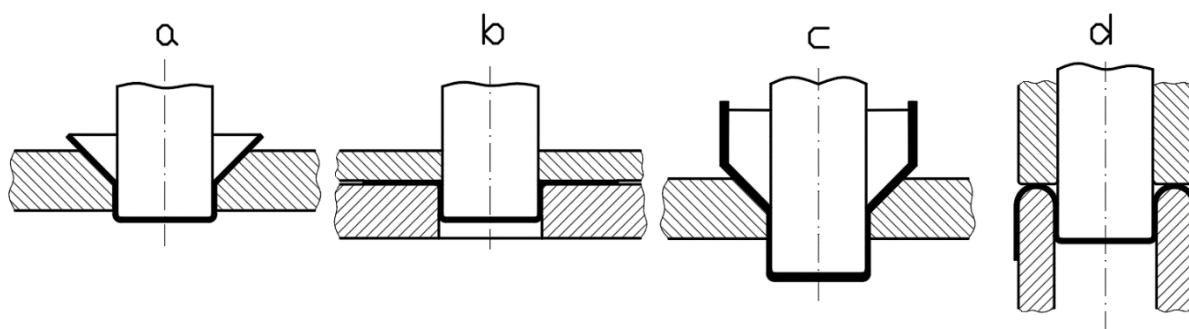


Obr. 9 Schéma ťahania v prvom ťahu [34]

## 2.1 Základné operácie ťahania [7], [12], [13], [16]

Operácie ťahania, ktoré sú na obrázku 10 sa delia na:

- obyčajné ťahanie (bez stenčenia steny) – delí sa na ťahanie bez pridržiavača (a) vhodné predovšetkým pre plytké výťahy a na ťahanie s pridržiavačom (b), používané pre hlboké súčiastky,
- ťahanie so stenčením steny (c) – polotovarom je väčšinou výťah vyrobený obyčajným ťahaním, výsledkom sú súčiastky, ktoré majú hrúbku dna väčšiu ako je hrúbka steny,
- spätné ťahanie (d) – uskutočňuje sa ako druhá alebo ďalšia operácia v opačnom smere ako pôvodná, dochádza k spevneniu materiálu.

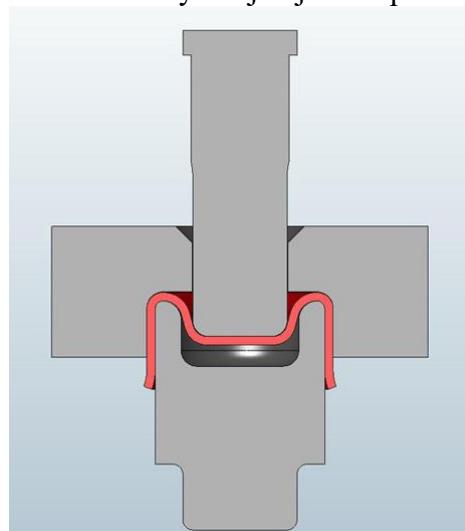


Obr. 10 Operácie ťahania [7], [18]

## 2.2 Spätné ťahanie [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

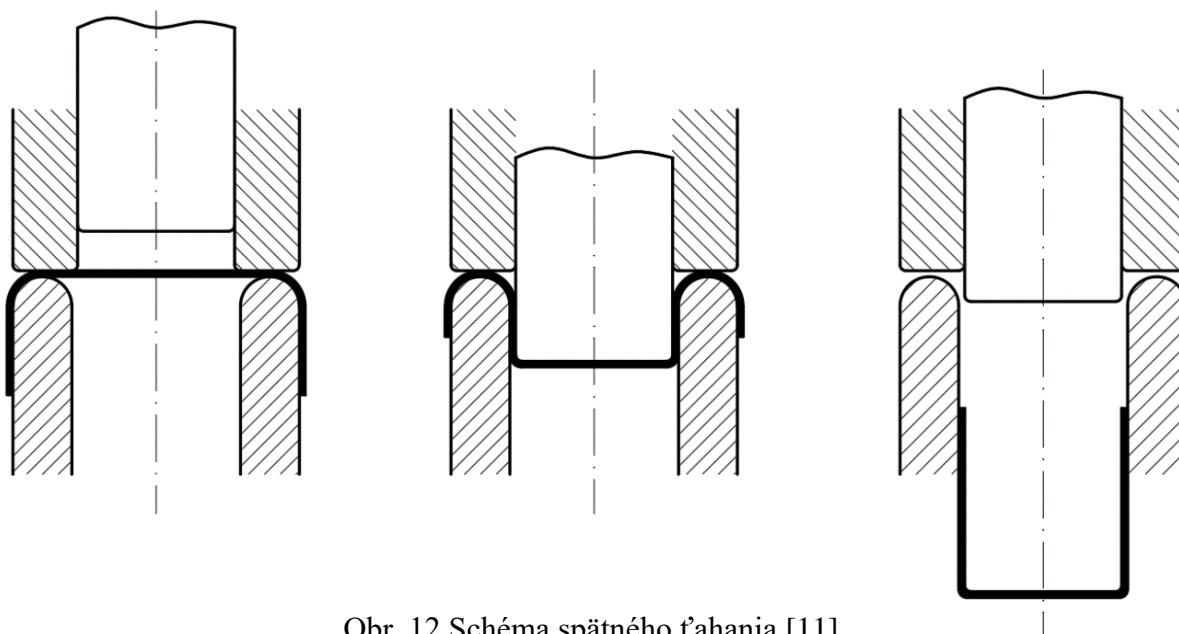
Viacnásobné ťahanie sa delí na obyčajné a na spätné. V oboch prípadoch je polotovar už vytvorený výťah. Pri obyčajnom, je kalíšok ťahaný rovnako ako pri jeho vzniku, výsledkom je zmenšenie priemeru výťahu. Pri spätnom ťahaní sa kalíšok ťahá v opačnom smere, čo znamená že vnútro výťahu sa stáva vonkajškom a naopak, vid' obrázky 11 a 12.

Táto technológia je vhodná pre plechy do hrúbky 4 mm a vyrábajú sa ňou výťahy kopulovitého a polguľového tvaru a súčiastky s prírubou. Touto metódou sa vyrábajú aj veľkoplošné výlisky, ktoré sa vyznačujú menšími výškami výťahov ale majú rôzne polomery zaoblenia a nachádzajú sa na nich dlhé rovné úseky, ale aj veľké nesymetrické výťahy typu kúpacej vane. Vyrábať podobné výťahy touto metódou je výhodnejšie z hľadiska menšieho stenčenia steny a priaznivejšieho rozloženia deformácií.



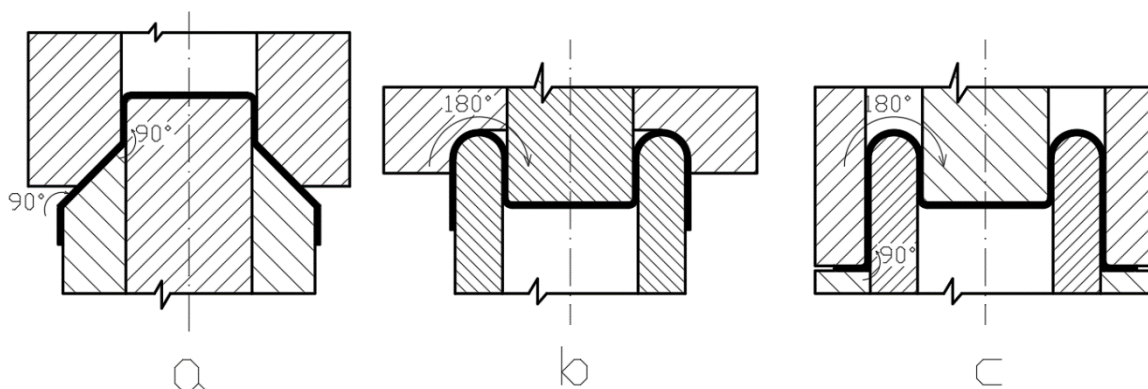
Obr. 11 Spätné ťahanie [39]





Obr. 12 Schéma spätného ťahania [11]

Na obrázku 13 je zobrazené obyčajné ťahanie (a), pri ktorom je ťahaný kov ohýbaný jedným smerom a následne o ten istý uhol v opačnom smere. Zatiaľ čo pri spätnom (b) sa kov ohýba len jedným smerom čo je pre materiál šetrnejšie, aj keď sa to na prvý pohľad nemusí zdať. Prípád (c) je veľmi nevhodný, pretože materiál sa ohýba o viac ako  $180^\circ$ , je nadmerne namáhaný a má sklony k trhaniu. Na to je dôležité pamätať pri viacnásobnej redukcii pri jednom zdvihu barana lisu. Konštrukcia nástroja musí byť taká, aby nasledujúca redukcia začala až po skončení predošlej.



Obr. 13 Zmena zmyslu pohybu pri ťahaní [16]

Výhodami tejto metódy sú:

- menšie namáhanie materiálu vďaka jednému ohybu,
- málo časté zvlnenie plechu,
- nulové zostatkové napätie,
- vyššia ťažnosť oproti obyčajnému ťahaniu,
- väčšia redukcia priemeru a to až o 25 % oproti obyčajnému,
- menšia ťažná sila,
- vďaka väčšej redukcii a menšiemu namáhaniu sa môžu spojiť dve ťažné operácie do jednej (obr. 16), čo ale môže viesť k potrebe trojčinného lisu,
- jednoduchšie ustavenie v nástroji.



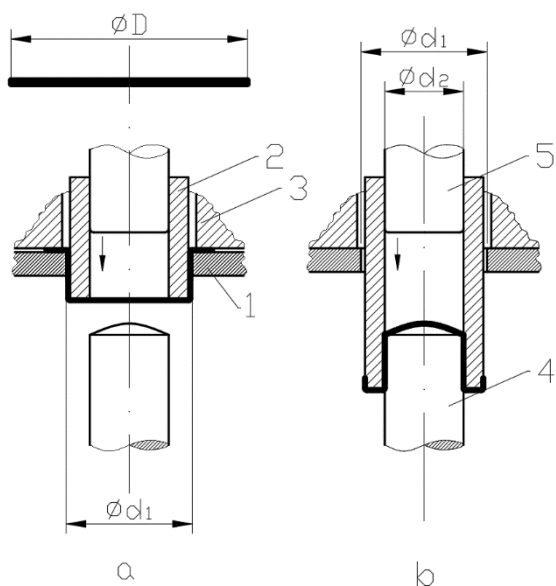
Obr. 14 Rez výtlačku vytvoreného spätným ťahaním [20]



Obr. 15 Rez výtlačku vytvoreného spätným ťahaním [20]

Výroba dielcov spätným ťahaním vyžaduje veľmi obsiahle znalosti materiálu a procesu ťahania, aby sa dosiahlo požadovaného tvaru. Na obrázkoch 14 a 15 sú zobrazené súčiastky vyrobené spätným ťahaním v reze.

Pre spätné ťahanie sa využíva ťahadlo bez pridržiavača, ktorým sa ťahajú malé a pomerne hrubé plechy, pre veľké a tenké je lepšie využiť pridržiavač.



- 1 – ťažnica
- 2 – ťažník
- 3 – pridržiavač
- 4 – ťažník pre spätné ťahanie
- 5 – vyhadzovač

Obr. 16 Schéma dvojnásobného spätného ťahania [11]

## 2.3 Veľkosť prístrihu [7], [8], [23], [24]

Priemer prístrihu sa dá určiť pomocou viacerých metód. Najrozšírenejšou a najpresnejšou v súčasnej dobe je využitie počítačového softvéru, ďalej sú to grafická metóda, ktorá slúži pre veľmi jednoduché výtázky a nie je príliš presná a výpočtová metóda.

Ak zostáva hrúbka plechu pri ťahaní rovnaká a predpokladá sa stálosť objemu, vychádza výpočet z rovnosti plochy polotovaru  $S_{pol}$  a plochy výtázky  $S_{výť}$ . Pri tenkých plechoch sa pre výpočet využíva vonkajší rozmer výtázky, pri hrubých treba počítať so stredným rozmerom hrúbky.

Priemer prístrihu sa zväčšuje o prídavok na odstrihnutie vzhľadom na anizotropné vlastnosti plechov o (2–7) %, podľa normy ČSN 22 7301.

Pre výtázky rotačného tvaru sa konečný priemer prístrihu vypočíta:

$$D = D_{vyp} + w \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

kde  $D_{vyp}$  – vypočítaný priemer [mm]

$w$  – prídavok na odstrihnutie [mm]

$$w = (0,02 - 0,07) \cdot D_{vyp} \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

Hodnota prídavku sa môže vypočítať podľa vzorca (2.2) alebo sa určí z tabuliek.

Priemer sa určí zo vzorca pre výpočet plochy kruhu a z predpokladu, že plochy prístrihu a výtázky sa rovnajú:

$$S_{pol} = S_{výť} = \frac{\pi \cdot D_{vyp}^2}{4} \text{ [mm}^2] \rightarrow D_{vyp} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{pol}}{\pi}} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

kde  $S_{pol}$  – plocha prístrihu [mm<sup>2</sup>]

$S_{výť}$  – plocha výtázky [mm<sup>2</sup>]

Plocha výtázky sa určí ako súčet plôch jednotlivých častí ako je dno, plášť, príruha, prechodové polomery atď.:

$$S_{výť} = \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.4)$$

kde  $S_i$  – plocha i-tej časti výtázky [mm<sup>2</sup>]

$n$  – počet častí tvoriacich výtázok [–]

## 2.4 Sila a práca [7], [13], [14], [23], [25], [26]

Určenie celkovej sily potrebnej na tvárnenie je veľmi dôležité pre správny výber tvárniaceho stroja. Celková sila  $F_c$  sa skladá zo sily ťažnej a ostatných síl od komponentov použitých pri procese ako je pridržiavač a vyhadzovač:

$$F_c = F_t + F_p + F_v \text{ [N]} \quad (2.5)$$

kde  $F_t$  – ťažná sila [N]

$F_p$  – sila od pridržiavača [N]

$F_v$  – sila od vyhadzovača [N]

Ťažná sila  $F_t$  vyvoláva v plášti výtázky ťahové napätie  $\sigma_t$ , ktoré je zložené z:

- radiálneho ťahového napätia, vznikajúceho v oblasti príruby,
- napätia vyvolaného trením od tlaku pridržiavača,
- napätia vyvolaného trením na zaoblenej hrane ťažnice,
- napätia vyvolaného ohybom prístrihu.



Ťažná sila sa podľa tohto predpokladu vypočítava:

$$F_t = S_v \cdot \sigma_t \quad [N] \quad (2.6)$$

kde  $S_v$  – prierez stenou výťazku  $[mm^2]$

$\sigma_t$  – ťahové napätie  $[MPa]$

Zjednodušený výpočet používaný v praxi pre prvý ťah je:

$$F_t = \pi \cdot d_{s1} \cdot t \cdot R_m \cdot k_{o1} \quad [N] \quad (2.7)$$

kde  $d_{s1}$  – stredný priemer výťazku v 1. ťahu  $[mm]$

$t$  – hrúbka materiálu  $[mm]$

$R_m$  – medza pevnosti v ťahu  $[MPa]$

$k_{o1}$  – opravný silový súčiniteľ pre 1. ťah  $[-]$

Tab. 3 Hodnoty opravného silového súčiniteľa pre prvý ťah  $k_{o1}$  [25].

$m_1 [-]$	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
$k_{o1} [-]$	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

Sila od pridržiavača závisí na veľkosti pridržiavanej plochy, drsnosti plôch, mazaní, polo-mere zaoblenia ťažnice atď. a určí sa z nomogramu alebo sa vypočíta podľa vzorca:

$$F_p = S_m \cdot p \quad [N] \quad (2.8)$$

kde  $p$  – tlak, ktorý sa volí podľa druhu materiálu  $[MPa]$

$S_m$  – plocha, na ktorú pôsobí pridržiavač  $[mm^2]$

$$S_m = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_1 + 2 \cdot t + 2 \cdot r_p)^2}{4} \quad [mm^2] \quad (2.9)$$

Tab. 4 Hodnoty tlaku podľa materiálu [26].

Materiál	$p$ [MPa]
hlbokotážná oceľ do hrúbky 0,5 mm	2,5–3
hlbokotážná oceľ nad 0,5 mm	2–2,5
hliník	0,8–1,2
meď	1,2–1,8
mosadz	1,5–2

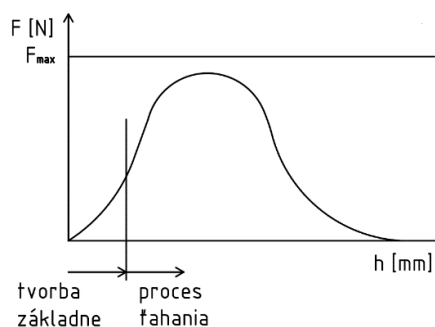
Práca pri ťahaní  $A_t$  sa vyráta podľa vzorca:

$$A_t = \frac{k_{Ao} \cdot F_c \cdot h_h}{1000} \quad [J] \quad (2.10)$$

kde  $k_{Ao}$  – opravný koeficient rešpektujúci pracovný diagram,  $k_{Ao} = \frac{2}{3} [-]$

$h_h$  – hĺbka výťazku (pracovný zdvih lisu)  $[mm]$

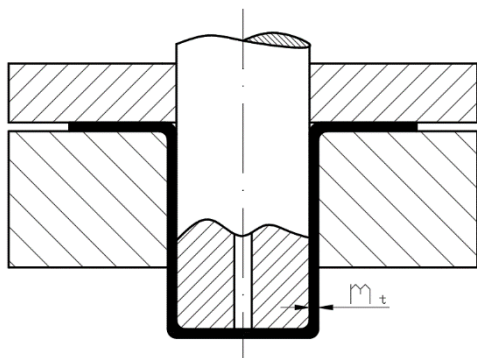
Počas procesu ťahania sila narastá z nuly na určitú hodnotu a potom klesá zas k nule. Táto hodnota nesmie prekročiť  $F_{max}$  čo je sila potrebná pre utrhnutie dna. Na začiatku procesu sa vytvorí základňa a potom sa začne skutočný proces ťahania, vid' obr. 17.



Obr. 17 Schéma ťahania [14]

## 2.5 Ťažná medzera [11], [24], [27]

Vôľta medzi ťažníkom a ťažnicou je kritickým faktorom pri ťahaní a závisí hlavne na hrúbke materiálu. Zvyčajne sa udáva tak, aby trenie pri prechode cez hranu ťažnice klesalo, čím stúpne trvanlivosť nástroja a klesne potrebná sila. Táto hodnota je o málo väčšia ako hrúbka plechu z dôvodu toho, aby sa materiál premiestnil a nepechoval sa.



Obr. 18 Ťažná medzera [11]

Malá vôľta spôsobuje strih. Ostrý roh ťažníku zapríčiňuje vznik trhliny, ktorá sa ďalej šíri ako pri strihaní a dôjde k nežiadúcemu oddeleniu materiálu, pri veľkej vôľi dôjde k zhoršeniu akosti povrchu a zvlneniu plechu.

Vo výpočtoch sa počíta s ťažnou medzerou (obr. 18), ktorej hodnota je polovica ťažnej vôľe:

$$m_t = \frac{v_t}{2} \text{ [mm]} \quad (2.11)$$

kde  $v_t$  – je ťažná vôľta [mm]

Veľkosť ťažnej medzery sa líši podľa poradia operácie. V prvom ťahu sa volí zhruba  $(1,2-1,3) \cdot t$ , podľa ČSN 22 7301. Medzera sa postupne pri väčšom počte ťahaní znižuje a v poslednej operácii môže byť o niečo menšia ako  $t_{max}$ , väčšinou  $(1,1-1,2) \cdot t$ . Pri ťahaní presných výťažkov s dobrou akosťou povrchu je doporučené voliť ťažnú medzeru  $< t_{min}; t >$ .

Ťažná medzera sa presne stanoví:

- pre všetky ťahy vrátane prvého:

$$m_t = K_{k1} \cdot t + t_{max} \text{ [mm]} \quad (2.12)$$

kde  $K_{k1}, K_{k2}, K_{k3}$  – koeficienty k stanoveniu ťažnej medzery [–]

$t_{max}$  – horný medzný rozmer hrúbky materiálu, ktorý sa určuje z normy polotovaru [mm]

- pre posledný ťah bez kalibrácie:

$$m_t = K_{k2} \cdot t + t \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

- pre kalibračnú operáciu:

$$m_t = K_{k3} \cdot t + t_{min} \text{ [mm]} \quad (2.14)$$

kde  $t_{min}$  – dolný medzný rozmer hrúbky materiálu, ktorý sa určuje z normy polotovaru [mm]

Tab. 5 Koeficienty  $K_k$  pre stanovenie ťažnej medzery [11].

Ťažná operácia		Koeficient	Hrúbka materiálu $t$ [mm]			
			< 0,8	0,8–2,0	2,0–4,0	> 4,0
Ťahanie	1. ťah	$K_{k1}$	0,40–0,30	0,30–0,20	0,20–0,15	0,15–0,10
	ďalšie ťahy	$K_{k1}$	0,30–0,20	0,20–0,15	0,15–0,10	0,10–0,05
	dokončovací ťah	$K_{k2}$	0,30–0,20	0,20–0,15	0,15–0,10	0,10–0,05
Kalibrovanie	bez stenčenia steny	$K_{k3}$	0,30–0,20	0,20–0,10	0,10–0,05	0,05–0,00
	so stenčením	$K_{k3}$	0,10	0,05	0,05	0,02

## 2.6 Redukcia pri ťahaní, súčiniteľ a stupeň ťahania [7], [15], [16], [17], [28]

So zväčšujúcim sa pomerom  $\frac{D}{d}$  narastá veľkosť ťažnej sily. Tá však nemôže byť väčšia ako pevnosť materiálu v ťahu, pretože by sa materiál porušil. Preto sa zaviedla redukcia, pomocou ktorej sa dá určiť maximálne pretvorenie, ktoré materiál znesie na jeden ťah. Jej hodnota by nemala stúpnuť nad 50 %.

**Redukcia** sa dá určiť viacerými spôsobmi, napr. podľa vzorca:

$$R_1 = \frac{D-d_1}{D} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2.15)$$

kde  $d_1$  – priemer výťazku v 1. ťahu [mm]

$R_1$  – redukcia priemeru prístrihu pri 1. ťahu [%]

Pre druhý a ďalšie ťahy sa redukcie vypočítavajú analogicky. Ďalšou možnosťou určenia redukcie je z tabuľky 6.

Tab. 6 Optimálna redukcia priemeru výťazku pri ťahaní podľa materiálov a hrúbok plechov [16].

Ťahaný materiál a jeho hrúbka [mm]	Redukcia pôvodného priemeru [%]							
	1. ťah		2. ťah		3. ťah		4. ťah	
	bežné	max	bežné	max	bežné	max	bežné	max
<b>plechy ocelové</b>								
do 1,6	40	47	20	25	18	20	16	18
od 1,6 do 3,2	40	47	15	18	14	15	13	14
od 3,2 do 4,8	40	47	12	15	11	12	10	11
od 4,8 do 6,4	40	47	10	12,5	9	10	8	9
cez 6,4	40	47	8	10	7	8	6	7
<b>plechy z medi a ich zliatin</b>								
do 1,6	44	50	24	30	22	24	20	22
od 1,6 do 3,2	44	50	18	24	16	18	14	16
od 3,2 do 4,8	44	50	15	18	14	15	13	14
od 4,8 do 6,4	44	50	12	15	11	12	10	11
cez 6,4	44	50	10	12	9	10	8	9
<b>plechy hliníkové</b>								
do 1,6	40	42	20	25	18	20	16	18
od 1,6 do 3,2	40	42	15	18	14	15	13	14
od 3,2 do 4,8	40	42	12	15	11	12	10	11
od 4,8 do 6,4	40	42	10	12,5	9	10	8	9
cez 6,4	40	42	8	10	7	8	6	7

**Súčiniteľ ťahania** je potrebný pre určenie počtu ťažných operácií a je ho možné stanoviť z redukcie podľa vzorca:

$$m = \frac{100-R}{100} [-] \quad (2.16)$$

kde  $R$  – redukcia priemeru prístrihu [%]

alebo sa vyráta pre prvý ťah:

$$m_1 = \frac{d_1}{D} [-] \quad (2.17)$$

a pre druhý ťah:

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} [-] \quad (2.18)$$

kde  $d_2$  – priemer výťažku po 2. ťahu [mm]

Tab. 7 Hodnoty súčiniteľa ťahania pre počet ťažných operácií [29].

$(t/D) \cdot 100$	2,0–1,5	1,5–1,0	1,0–0,6	0,6–0,3	0,3–0,15	0,15–0,08
$m_1$	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
$m_2$	0,74	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81
$m_3$	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
$m_4$	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
$m_5$	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

**Stupeň ťahania** sa vypočíta ako prevrátená hodnota  $m$ :

$$K = \frac{1}{m} [-] \quad (2.19)$$

Oba koeficienty závisia na materiáli, pomere  $\frac{t}{D}$ , polomeroch zaoblení nástrojov, mazania a mnohých ďalších.

## 2.7 Počet ťažných operácií [7], [13]

Hlavným cieľom je vytiahnutie súčiastky na čo najmenší počet ťahov, pretože čím viac ťahov sa použije, tým viac sa výroba komplikuje. Pri určitom počte operácií sa zásoba plasticity v materiáli vyčerpá a súčiastka sa už nedá ďalej tvárniť. V tomto prípade sa tepelne spracuje, konkrétne vyžíha, čím sa obnoví jej ťažnosť a môže sa ďalej tvárniť. Konkrétny počet ťažných operácií, ktoré súčiastka vydrží do vyčerpania plasticity závisí od materiálu.

Počet ťažných operácií sa dá určiť zo stupňa ťahania, súčiniteľa ťahania alebo z redukcie, čo je pochopiteľné, keďže tieto veličiny spolu veľmi úzko súvisia.

Pri použití súčiniteľa ťahania sa využíva tabuľka 7, z ktorej sa podľa pomeru hrúbky a polomeru určí dovolený súčiniteľ ťahania pre určitý ťah. Následne sa hodnota z tabuľky dosadí do vzorca 2.18, ktorý sa obmieňa podľa poradia operácie a vyjadří sa neznámy priemer. V prvom ťahu to bude vyzerať takto:

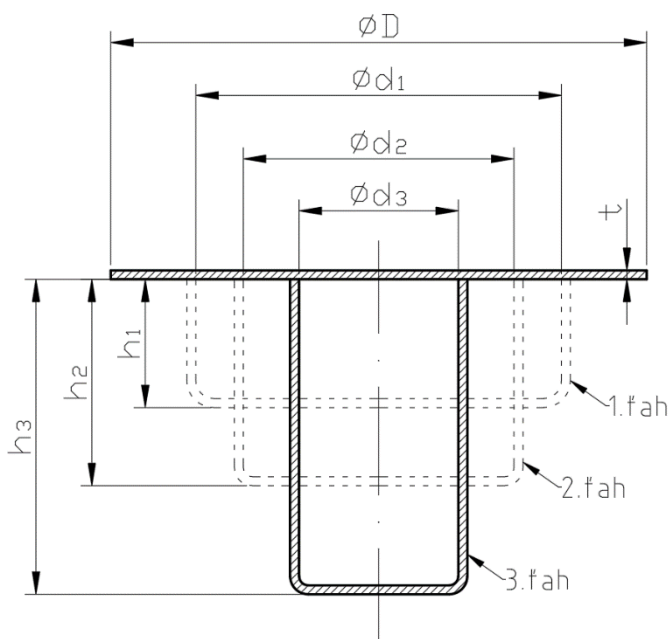
$$d_1 = m_1 \cdot D \text{ [mm]} \quad (2.20)$$

$d_1$  udáva najmenší priemer, ktorý sa dá pri tejto operácii vytiahnuť. Pre nasledujúce operácie:

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 \text{ [mm]} \quad (2.21)$$

$$d_i = m_i \cdot d_{i-1} \text{ [mm]} \quad (2.22)$$

Týmto spôsobom sa pokračuje, až  $d_i$  bude menšia prípadne rovnaká hodnota ako je požadovaný konečný priemer výťažku.



Obr. 19 Odstupňovanie ťažných operácií [13]

## 2.8 Nástroje vhodné pre ťahanie [12], [17], [19], [24], [25], [26]

Nástrojom pri ťahaní je ťahadlo, ktoré sa skladá z ťažníka a ťažnice. Ťahadlo je okrem lisu najdrahší komponent pri výrobe výťazku. Cena nástroja je vysoká z dôvodu použitia nástrojových materiálov pre ťažník a ťažnicu, z nutnosti tepelného spracovania a následného doobrobrenia na presný rozmer, výroby veľkého množstva rôznych nástrojov odlišných pre každý ťah a každý výrobok.

### • Ťažnica

Je to dutá časť nástroja, ktorá zabezpečuje vonkajší tvar výťazku. Polomer zaoblenia ťažnice je dôležitým parametrom, pretože má veľký vplyv na napätie v ťahanom materiáli, na ťažnú silu a na vznik väd na výťazku. Polomer je závislý na hrúbke plechu. Všeobecne pre všetky ťahy sa má polomer ťažnice pohybovať v rozmedzí  $(6-10) \cdot t$ , podľa ČSN 22 7301. Potom konkrétne pre:

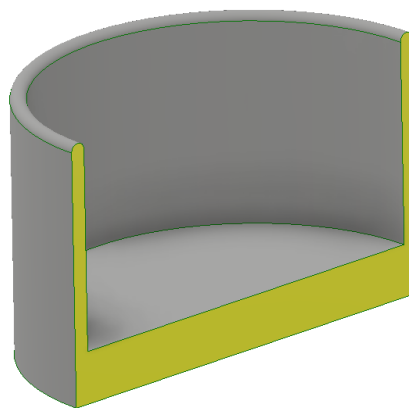
prvý ťah sa používajú vyššie hodnoty:

$$r_{t1} = (8-10) \cdot t \text{ [mm]} \quad (2.23)$$

pre ďalšie ťahy nižšie hodnoty:

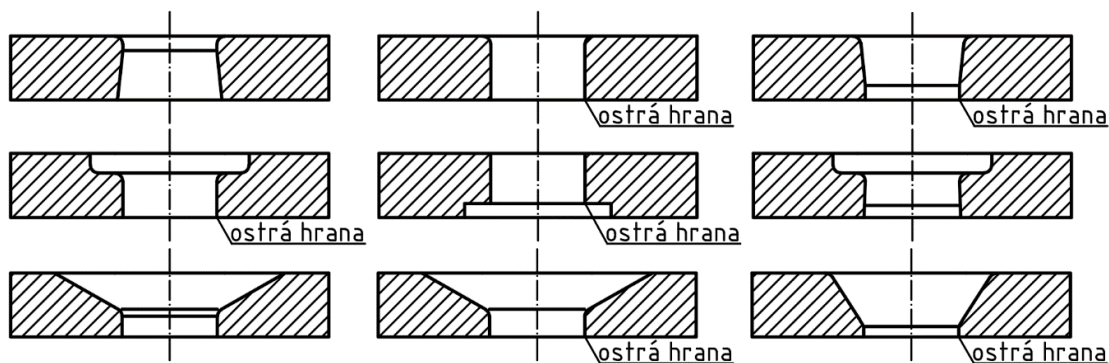
$$r_{ti} = (6-8) \cdot t \text{ [mm]} \quad (2.24)$$

Na obrázku 20 je model ťažnice vhodnej pre spätné ťahanie. Steny ťažnice sú tenké, čo by mohlo spôsobiť stratu stability. Lenže pri spätnom ťahaní sa plech prilne k stene ťažnice a tým sa steny spevnia a k strate stability dôjde len v ojedinelých prípadoch. Najlepšou alternatívou sú čo najkratšie steny ťažnice.



Obr. 20 Model ťažnice pre spätné ťahanie

Tvary výstupov ťažnice sú rôzne vzhľadom na to, ktorým smerom bude výťazok opúšťať ťažnicu. Ak prepadá spodkom, tak má ťažnica na spodnej časti ostrú hranu, vid' obrázok 21.



Obr. 21 Typy ťažníc [25]

### • Ťažník

Je jednou z častí ťahadla a má tvar a rozmery odpovedajúce vnútru výťazku. Medzi ťažníkom a ťažnicou musí byť medzera, ktorá sa nazýva ťažná medzera, vid' kapitola 2.5. Zhotovuje sa z rovnakého materiálu ako ťažnica. Pri väčších ťažníkoch sa kvôli úspore financií používa na výrobu ťažníku bežná konštrukčná oceľ a z nástrojovej oceli je vyrobená len ťažná hrana, ktorá je následne k ťažníku zalícovaná alebo privarená. Pre

správnou funkciu nástroja je potrebné v ťažníku zhotoviť zavzdušňovací otvor, ktorý zabráni vzniku podtlaku medzi ťažníkom a výťazkou.

Polomery ťažníka  $r_p$  a ťažnice  $r_t$  sú pre prvé a nasledujúce ťahy rovnaké poprípadne je polomer ťažníka väčší. Pri poslednom ťahu sa polomer určuje z tabuľky 8 vzhľadom na priemer výťazky.



Obr. 22 Model ťažníka

Tab. 8 Polomery zaoblenia ťažníku podľa ČSN 22 7301 [24].

polomer zaoblenia ťažníku	veľkosť výťazky
$(3-4) \cdot t$	10 - 100 mm
$(4-5) \cdot t$	100 - 200 mm
$(5-7) \cdot t$	200 mm a viac

#### • Pridržiavač

Používa sa pre hlbšie výťazky, jeho funkciou je pritláčanie prístrihu k ťažnici za účelom zabránenia zvlnenia plechu. Veľkosť tlaku pridržiavača je veľmi podstatná. Pri malom tlaku by sa nezabránilo zvlneniu materiálu, naopak pri príliš veľkom tlaku by sa mohlo odtrhnúť dno alebo by sa materiál poškriabal.

Potreba pridržiavača sa určí podľa normy ČSN 22 7301:

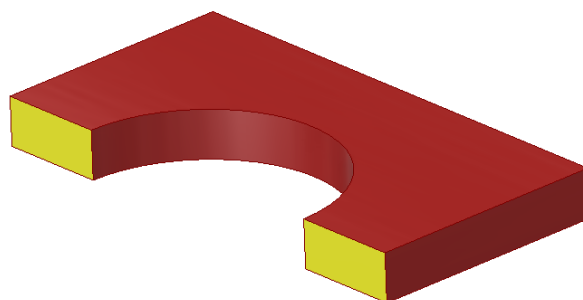
$$k_p = 50 \cdot \left( Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) [-] \quad (2.25)$$

kde  $Z$  – materiálová konštanta [-]

Tab.9 Materiálová konštanta podľa ČSN 22 7301 [24].

materiálová konštanta	oceľový hlbokotlačný plech	mosadzný plech	hliníkový plech
$Z$	1,9	1,95	2

Ak je  $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$  je treba použiť pridržiavač, ak  $k_p < \frac{100 \cdot d_1}{D}$  nie je treba použiť pridržiavač.



Obr. 23 Model pridržiavača v reze



## 2.9 Stroje [7], [30], [31]

Pri procese ťahania sa využívajú hydraulické a mechanické lisy, ktoré môžu byť jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové.

Jedným z najdôležitejších parametrov pri výbere lisu je menovitá sila ktorú dokáže vyvinúť. Jej veľkosť sa pohybuje obvykle od 10–1000 ton.

Ďalším dôležitým parametrom je takt lisu, ktorý ovplyvňuje množstvo vyrobených kusov za daný časový úsek.

Hydraulický lis (obr. 25) pracuje na princípe Pascalovho zákona pre hydrostatiku. Výhodou tohto lisu je veľká tvárniaca sila, plynulá a rýchla regulácia veličín ako tlak a rýchlosť.

Pri mechanických lisoch je pohon realizovaný pomocou klikového mechanizmu. Tieto lisy majú nevýhodu v tom, že najväčšiu tvárniacu silu dosiahnu až tesne pri dolnej úvratí a nesmú byť zaťažované väčšou silou ako je menovitá, pretože by mohlo dôjsť k porušeniu.



Obr. 24 Klikový lis [40]



Obr. 25 Hydraulický lis [30]

## 2.10 Mazivá [12], [16], [25], [28]

Pre proces ťahania sú charakteristické vysoké tlaky, až do 3500 MPa, ktoré spôsobujú trenie medzi nástrojom a ťahaným materiálom. Preto sa pri ťahaní používajú mazivá, ktoré musia byť správne zvolené, aby bol proces úspešný. Mazivo by malo dobre odvádzať teplo, znižovať ťažnú silu tak, aby nedošlo k porušeniu celistvosti materiálu, zabráňovať zadieraniu ťahaného povrchu a zvyšovať životnosť nástroja.

Mazivá sa delia na minerálne, organické, synteticky vyrábané oleje a mazacie tuky. Vzhľadom na to, že minerálne oleje nie sú vhodné pre ťahanie kovov a organické majú síce dobré mazacie vlastnosti ale sú drahé, sa v praxi najviac využívajú syntetické oleje a mazacie tuky.

Dôležité je, aby bolo mazivo rovnomerne rozložené po celej ploche výťažku a vytváralo celistvý a jemný film odolný voči porušeniu. Pri použití vysokých tlakov (od 600 MPa) sa pridáva do maziva plnivo, ktoré zvyšuje viskozitu a má dobrú odolnosť voči teplu spôsobenému trením. Ako plnivo sa používa vločkový grafit, mastenec, parafín, vosk atď.

Keďže sa od maziva očakáva dobrá priľnavosť k povrchu, tak jeho odstránenie býva veľmi zložitým a nákladným procesom. Pravidlom je, že čím je mazivo kvalitnejšie, tým sa



Obr. 26 Mastenec [35]



Obr. 27 Vločkový grafit [35]

ťažšie odstraňuje z povrchu. Príkladom takéhoto maziva je napríklad grafit, ktorý sa primárne nepoužíva hlavne kvôli zložitému odstraňovaniu.

Pre jednoduché výťahy z oceli sa používa repkový olej, pre zložitejšie sa musí použiť mazivo s plnivom, napríklad zmes živočíšneho oleja s naplavenou kriedou. Pri koróziivzdorných oceliach sa musí dbať na dostatočnú hrúbku maziva aby sa zabránilo odieraniu o nástroj. Pre oceľové výťahy sa používa aj medený povlak, ktorý sa vytvorí na povrchu plechu a slúži ako mazivo. Tento spôsob mazania sa využíva pri lisoch s automatickým podávaním, kde sa polotovary mazané kvapalným mazivom v zásobníkoch prílepujú k sebe.

## 2.11 Vady pri ťahaní [28]

Ťahanie je ovplyvnené mnohými faktormi, ktoré rozhodujú o úspechu, prípadne neúspechu procesu. Neúspech môžu spôsobiť vady ako napríklad zvlnenie a porušenie materiálu.

Zvlnenie (obr. 28) je jednou z hlavných väd pri ťahaní, ktoré môže zničiť ťažnicu a spôsobiť zaseknutie súčiastky v nástroji. Preto je veľmi dôležitá predikcia a prevencia. V súčasnosti sa používajú analytické a experimentálne pristupy, ktoré pomáhajú zvlneniu predísť.

Porušenie výťazku (obr. 29) môže nastať ak:

- je hrúbka plechu príliš malá,
- bola nesprávne zvolená ťažná medzera,
- bola sila od pridržiavača príliš veľká
- boli nesprávne zvolené zaoblenia ťažníku a ťažnice.



Obr. 28 Zvlnenie výťazku [42]

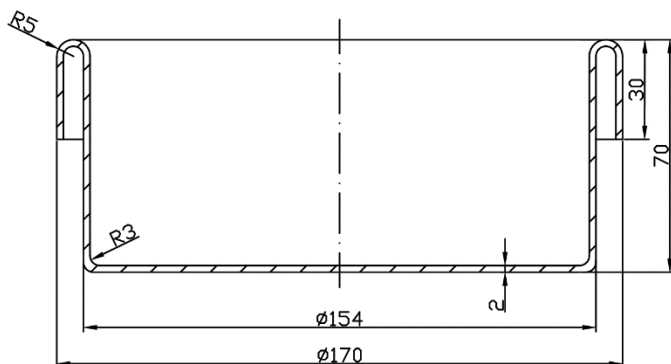


Obr. 29 Porušenie výťazku [41]



### 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

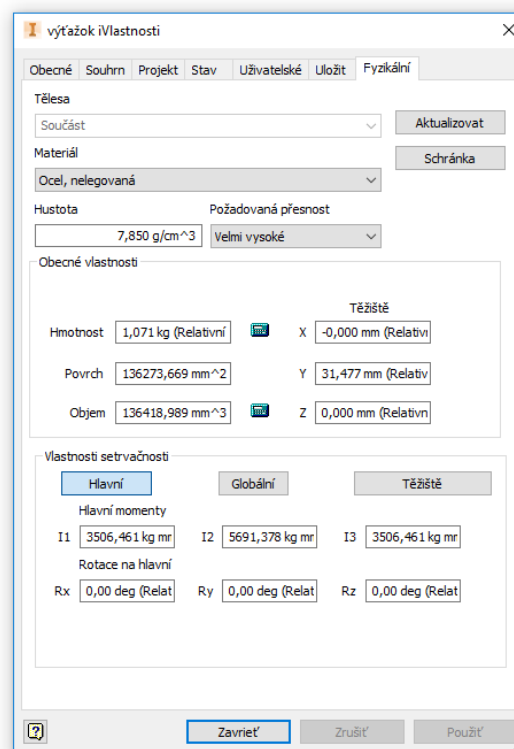
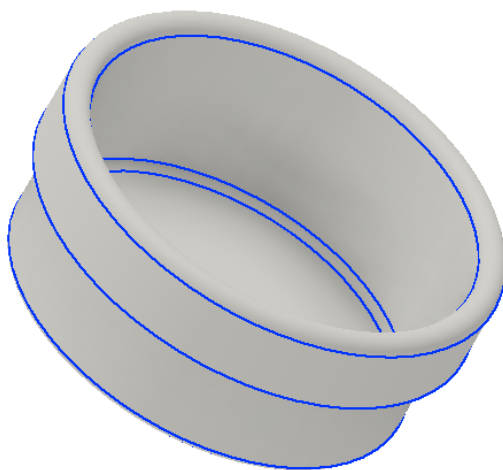
Ako už bolo v práci spomenuté súčiastka sa bude vyrábať pomocou spätného ťahania. Polotovarom bude kruhový prístrih z materiálu DC05 s hrúbkou 2 mm. Pre tento materiál je medza pevnosti 270–330 MPa. Predpokladom je, že sa v prvom rade vytiahne kalíšok jednou prípadne dvoma operáciami, v závislosti na stupni ťahania. Následne sa spätným ťahaním vytvorí finálny výtlačok. Na obrázku 30 je rez riešenej súčiastky so základnými kótami.



Obr. 30 Rez súčiastky

#### 3.1 Výpočet priemeru prístrihu [7]

Pre priemer rondelu je potrebné zistiť najprv plochu výtlačku, ktorá sa získa z programu Autodesk Inventor Professional.



Obr. 31 Výpočet plochy výtlačku

Pomocou programu bola zistená plocha celého výtlačku 136273,669 mm<sup>2</sup>, ktorá sa následne vydeli dvoma pre získanie plochy polotovaru.

$$S_{pol} = \frac{136273,669}{2} = 68136,83 \text{ mm}^2$$

Plocha výťažku je 68136,83 mm<sup>2</sup>, z tejto hodnoty sa vypočíta priemer podľa vzorca vyjadreného z plochy kruhu, ku ktorému sa pripočíta prídavok na odstrihnutie (2.2).

$$D_{vyp} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{výť}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 68136,83}{\pi}} = 294,5 \text{ mm}$$

$$w = (0,02 \text{ až } 0,07) \cdot D_{vyp} = 0,02 \cdot 294,5 = 5,89 \text{ mm}$$

$$D = D_{vyp} + w = 294,5 + 5,89 = 300,39 \text{ mm}$$

Priemer prístrihu bol zvolený 300 mm.

### 3.2 Určenie počtu ťažných operácií a potreba pridržiavača [16]

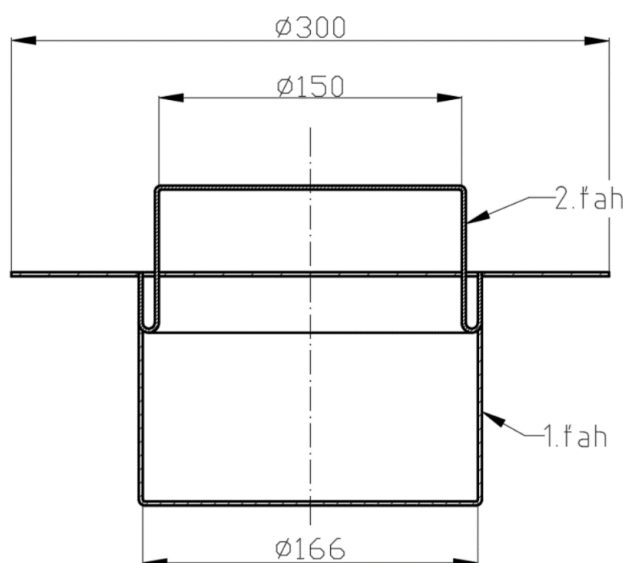
Pre určenie počtu ťažných operácií sa použije súčiniteľ ťahania z tabuľky 7, z ktorej sa použije stĺpec 1,0–0,6. Súčiniteľ ťahania pre prvý ťah sa vyráta podľa vzorca 2.20.

$$d_1 = D \cdot m_1 = 300 \cdot 0,54 = 162 \text{ mm}$$

Na prvý ťah sa dá dosiahnuť maximálneho priemeru 162 mm. Priemer v prvom ťahu bude 166 mm. Pre druhý ťah sa použije vzorec 2.21.

$$d_2 = d_1 \cdot m_2 = 166 \cdot 0,77 = 127,82 \text{ mm}$$

Výťažok sa dá v druhom ťahu vytiahnuť na 127,82 mm. Výťažok sa vytiahne v druhom ťahu na konečný priemer 150 mm, ako je to zobrazené na obrázku 32.



Obr. 32 Schéma ťahania

Pomocou redukcie sa overí správnosť výpočtov uvedených vyššie, podľa vzorca 2.15.

$$R_1 = \frac{D - d_1}{D} \cdot 100 = \frac{300 - 166}{300} \cdot 100 = 44,67 \%$$

Podľa tabuľky 6 je maximálna hodnota redukcie pre prvý ťah 47 %, čo znamená, že vypočítaná redukcia pre prvý ťah je adekvátne.

$$R_2 = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100 = \frac{166 - 150}{166} \cdot 100 = 9,64 \%$$

Bežná hodnota pre druhý ťah je z tabuľky 6,  $R_{b2} = 15 \%$ .  $R_{b2} > R_2$ , z čoho vyplýva, že redukcia je v poriadku a výťažok bude zhotovený bez defektov na 2 ťahy.

Potreba pridržiavača sa učí podľa vzorca 2.25 a konštanta  $Z$  z tabuľky 9:

$$k_p = 50 \cdot \left( Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{300}} \right) = 84,44$$

$$\frac{100 \cdot d_1}{D} = \frac{100 \cdot 150}{300} = 50$$

$k_p > 50$ , takže súčiastka bude ťahaná s pridržiavačom.

Z výpočtov vyplýva, že v prvom ťahu sa vytiahne kalíšok o priemere 166 mm a v druhom ťahu sa vytiahne hotový výťažok s konečným priemerom 150 mm. Pri ťahaní bude potrebný pridržiavač.

### 3.3 Určenie sily a práce [25]

Ťažná sila pre prvý ťah podľa vzorca 2.7, kde súčiniteľ  $k_{o1}$  bol zvolený z tab. 3.

$$F_{t1} = \pi \cdot d_{s1} \cdot t \cdot R_m \cdot k_{o1} = \pi \cdot 168 \cdot 2 \cdot 270 \cdot 0,93 = 265055 \text{ N}$$

Pre výpočet sily od pridržiavača v prvom ťahu (2.8 a 2.9) sa hodnota tlaku zvolila 2,25 MPa z tab. 4.

$$F_{p1} = S_m \cdot p = \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_1 + 2 \cdot t + 2 \cdot r_{p1})^2}{4} \right) \cdot p = \left( \frac{\pi \cdot 300^2}{4} - \frac{\pi \cdot (166 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 5)^2}{4} \right) \cdot 2,25 = 101788 \text{ N}$$

Celková sila (2.5) potrebná pre prvý ťah:

$$F_{c1} = F_{t1} + F_{p1} = 265055 + 101788 = 366843 \text{ N}$$

Sily v ďalších ťahoch netreba počítat, pretože sila v prvom ťahu je najväčšia a podľa nej sa vyberá vhodný lis.

Na určenie veľkosti práce bolo treba zistiť hĺbku výťažku pri prvom ťahu, ktorá je 94 mm a práca sa podľa vzorca 2.10 vypočíta:

$$A_t = \frac{k_{Ao} \cdot F_{c1} \cdot h}{1000} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 366843 \cdot 0,094}{1000} = 22,98 \text{ J}$$

Práca vykonaná pri prvom ťahu je 22,98 J.

### 3.4 Parametre nástroja [32]

- **t'ážná medzera**

koeficienty  $K_k$  sa určujú z tabuľky 5 a tolerancia pre hrúbku polotovaru je určená z normy EN 10131, kde pre hrúbku plechu 2 mm je tolerancia  $\pm 0,1$  mm.

pre prvý ťah (2.12):

$$m_{t1} = K_{k1} \cdot t + t_{max} = 0,2 \cdot 2 + 2,1 = 2,5 \text{ mm}$$

pre druhý a zároveň posledný ťah bez kalibrácie (2.13):

$$m_{t2} = K_{k2} \cdot t + t = 0,15 \cdot 2 + 2 = 2,3 \text{ mm}$$

Vzhľadom na to, že súčiastka bude ťahaná nahotovo, musia byť polomery zaoblenia ťažníku a ťažnice zhodné polomermi zaoblenia súčiastky.

- **polomer zaoblenia ťažnice**

pre prvý ťah  $r_{t1} = 16 \text{ mm}$

pre druhý ťah  $r_{t2} = 5 \text{ mm}$

- **polomer zaoblenia ťažníku**

pre prvý ťah  $r_{p1} = 5 \text{ mm}$

pre druhý ťah  $r_{p2} = 3 \text{ mm}$

### 3.5 Voľba stroja [33]

Veľkosť celkovej sily je najdôležitejším parametrom pri výbere správneho lisu. Vzhľadom na to, že súčiastka bude vyrábaná metódou spätného ťahania, tak je vhodné zvoliť dvojčinný prípadne trojčinný lis. S prihliadnutím sa potrebnú silu a celkovo na parametre výrobku bol zvolený hydraulický trojčinný lis (obr. 33) od spoločnosti Dieffenbacher s označením PO 160/100, ktorý je vhodný pre ťahanie výliskov z plechu. Jeho parametre odpovedajú požiadavkám zadanej súčiastky a sú uvedené v tabuľke 10.

Tab. 10 Parametre vybraného lisu [33].

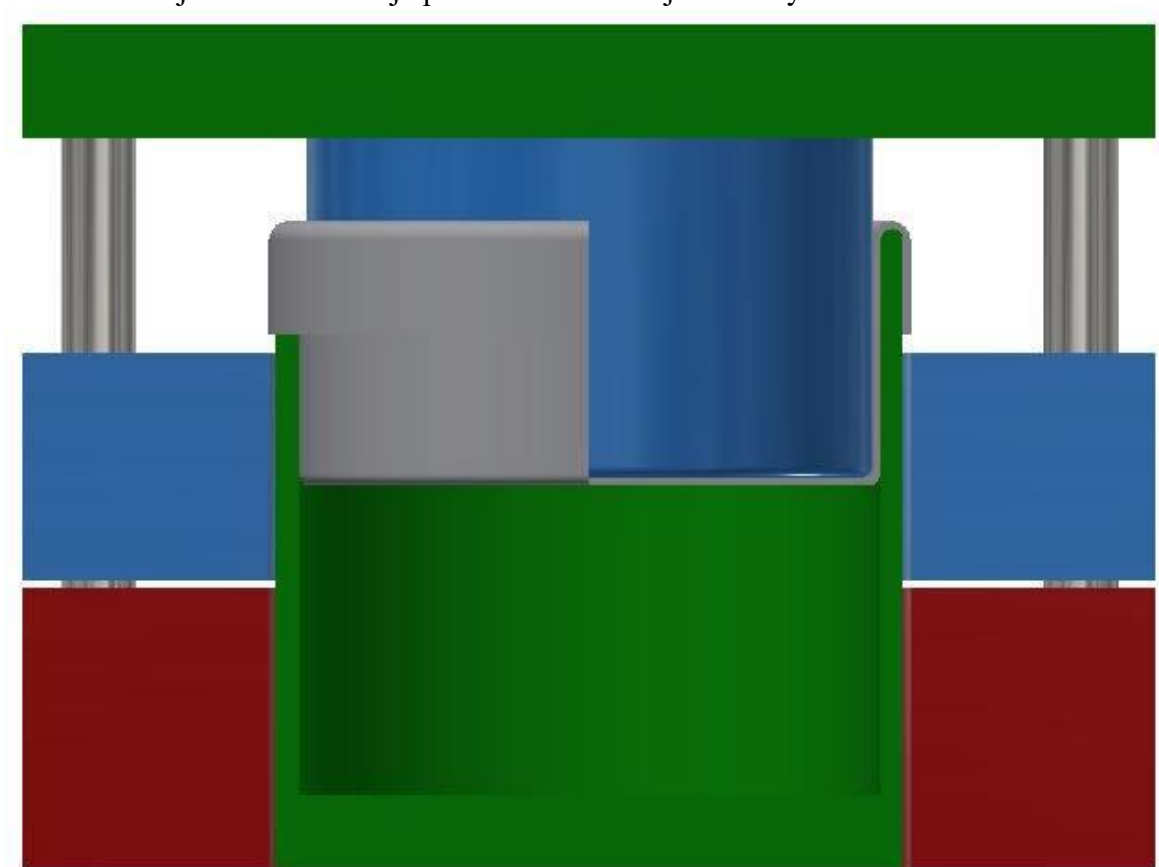
spodný pridržiavač	
pridržiavacia sila	1000 kN
zdvih	300 mm
plocha pridržiavača	1000 x 800 mm
ťažný baran	
tvárniaca sila	1600 kN
zdvih	750 mm
upínacia plocha	650 x 650 mm
tvárniaca rýchlosť (max. sila)	33 mm/s
pridržiavací baran	
pridržiavacia sila	1000 kN
zdvih	405 mm
upínacia plocha	1200 x 1000 mm



Obr. 33 Lis PO 160/100 [33]

### 3.6 Postup výroby

Polotovary pre výrobu zadanej súčiastky bude kruhový prístrih s priemerom 300 mm a hrúbkou 2 mm. Plech sa potrie mazivom a ustaví do nástroja, ktorým bude lis od spoločnosti Dieffenbacher s označením PO 160/100. V prvej časti sa vytvorí výtlačok s priemerom 166 mm a výškou 94 mm. V nasledujúcej časti ťahania sa vytvorí hotový výtlačok s požadovanými rozmermi. Pracovník vyberie súčiastku z nástroja a pomocou sústružníckeho noža zarovná okraj príruby na rozmer 30 mm a následne skontroluje vonkajší a vnútorný priemer a výšku výtlačku. Na obrázku 34 je schéma nástroja pre ťahanie zadanej súčiastky.

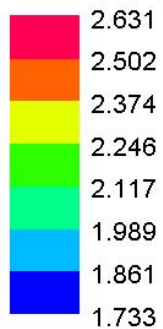


Obr. 34 Schéma nástroja

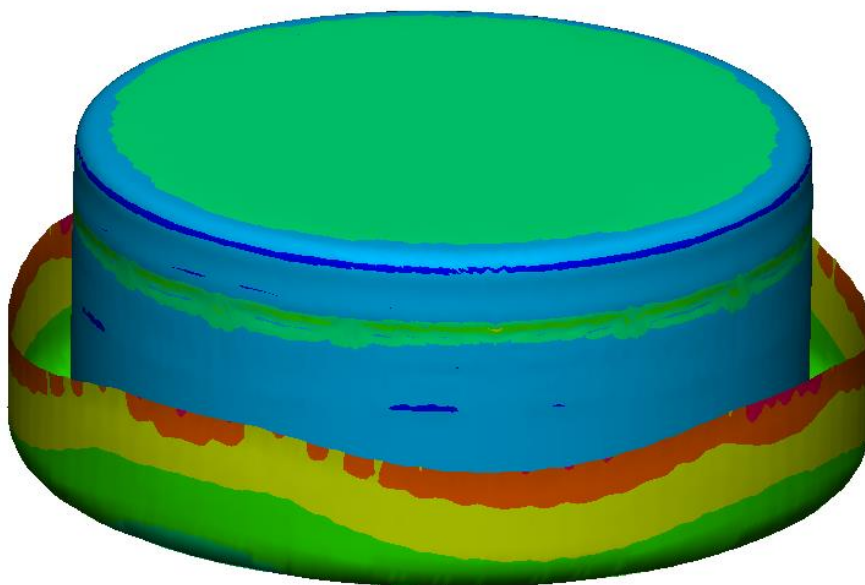
### 3.7 Simulácia ťahania

Simulácia procesu ťahania danej súčiastky bola uskutočnená v programe PAM-STAMP. Na obrázku 35 je vidieť zmenu hrúbky plechu počas ťahania. Najväčšie stenčenie je v mieste, kde bol plech ohýbaný do 90 stupňového uhla, t. j. v zaoblení dna výtlačku. Obrázok 36 ukazuje odpruženie plechu po vyňatí z nástroja. Najväčšie odpruženie nastalo na dne výtlačku. Na obrázku 37 sú vidieť oblasti, v ktorých by mohlo nastať zvlhnenie. Najpravdepodobnejšou je príruha. Z Keeler-Goodwinovho diagramu je zrejmé, že celý proces ťahania sa nachádza v bezpečnej oblasti a nebude dochádzať k porušeniu materiálu.

Hrúbka [mm]

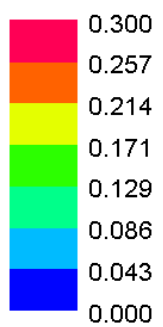


Min = 1.733  
Max = 2.631

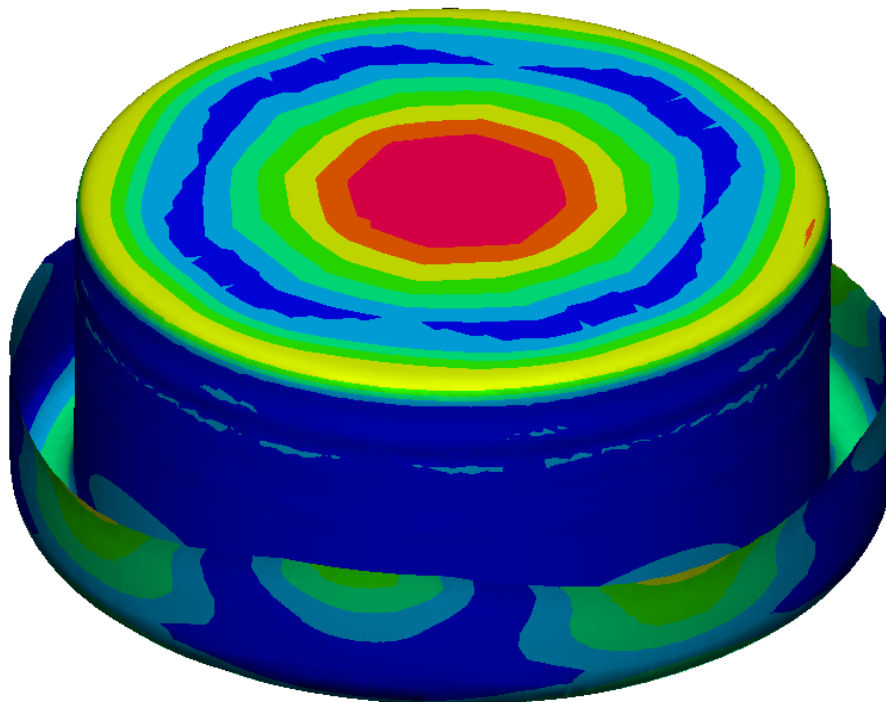


Obr. 35 Zmena hrúbky plechu

Odpruženie [mm]

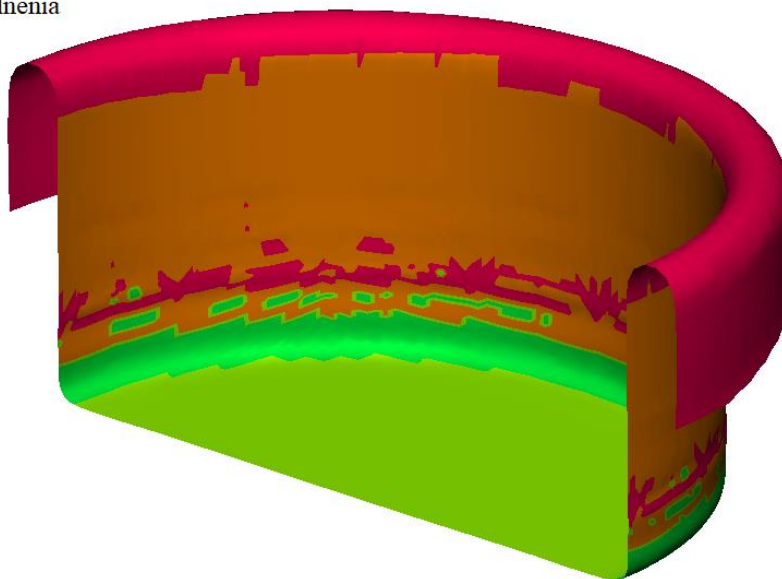
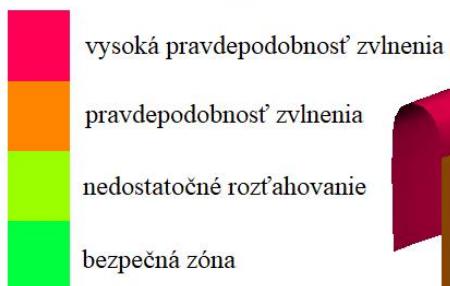


Min = 0.000  
Max = 0.300

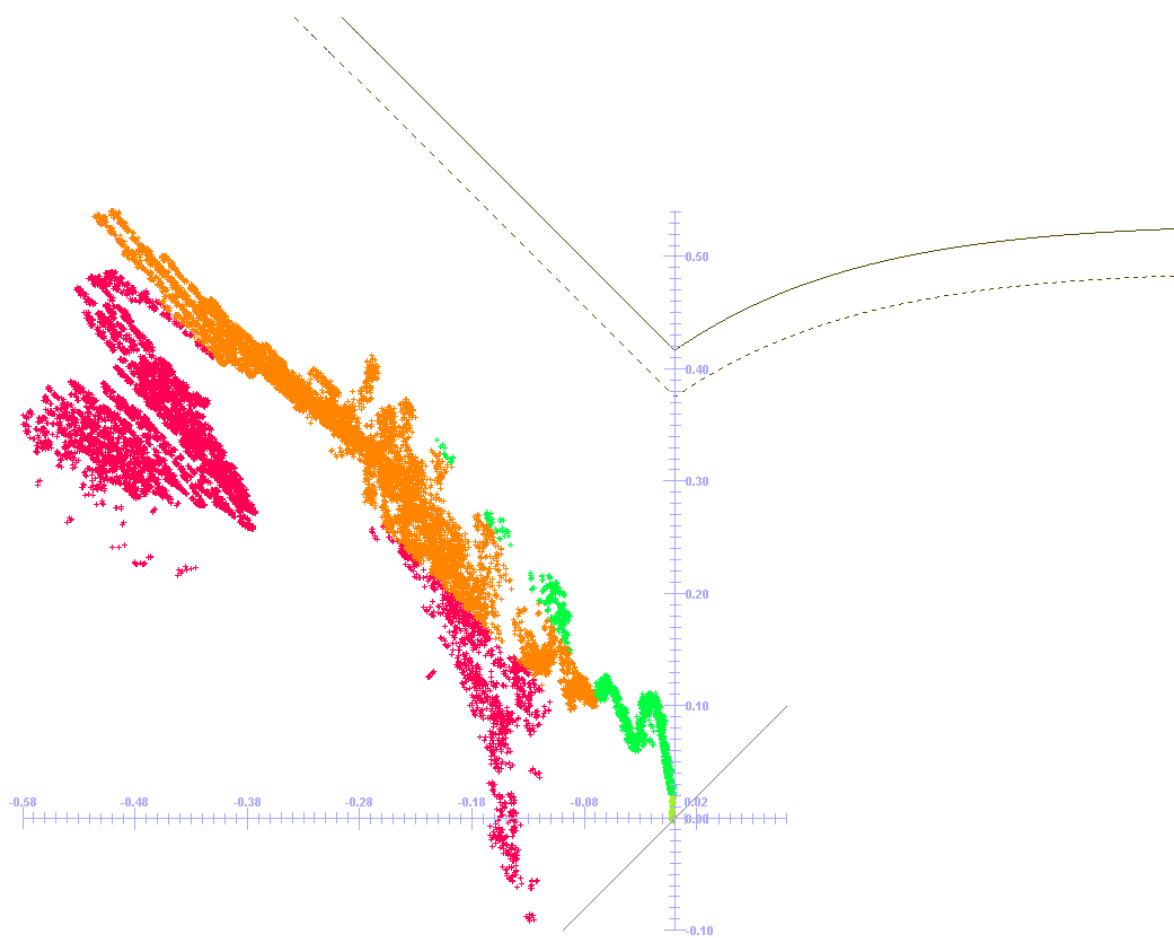


Obr. 36 Odpruženie po vyňatí z nástroja

FDL (napätie) - zóny podľa kvality



Obr. 37 Pravdepodobnosť zvlnenia



Obr. 38 Keeler-Goodwinov diagram

## ZÁVERY

V práci bola vypracovaná literárna štúdia na tému technológie ťahania so zameraním na spätné ťahanie a návrh výroby zadanej súčiastky.

Krytka bude vyrábaná z materiálu DC05, čo je nelegovaná, nízkouhlíková, ťažná oceľ. Polotovarom bude kruhový prístrih s priemerom 300 mm a hrúbkou 2 mm, pričom vnútorný priemer súčiastky bude 150 mm pri výške výťazku 70 mm a vonkajším priemerom s prírubou 170 mm.

Z niekoľkých navrhnutých variant výroby sa vzhľadom na efektívnosť zvolila metóda spätného ťahania, ktorou bude zadaná súčiastka vyrábaná. Táto technológia je šetrnejšia k materiálu, keďže sa druhý ťah vykonáva v opačnom smere oproti prvému, ako metóda hlbokého ťahania. Ďalšou výhodou oproti obvyčajnému ťahaniu je možnosť dosiahnutia väčšej redukcie pri jednom ťahu. To znamená, že súčiastky sa všeobecne budú ťahať na menej ťažných operácií.

V tretej kapitole boli vypočítané potrebné hodnoty pre zvolenie vhodného lisu a návrhu ťahadla. Súčiastka bude ťahaná v trojčinnom lise, kde najprv sa vytvorí kalíšok a následne spätným ťahaním finálny výťazok. Celková sila potrebná pre prvý ťah je 366 kN.

Z vypočítaných hodnôt bola pomocou programu PAM-STAMP vytvorená simulácia ťahania zadanej súčiastky. Zo simulácie vyplýva, že hrúbka steny sa zmenšila v najviac namáhaných miestach o 0,3 mm a najväčšie odpruženie bolo po vyňatí z nástroja na dne výťazku.

Je dôležité podotknúť, že súčiastka má hlavne ilustratívny charakter a návrh nástroja ani technologicko-ekonomické zhodnotenie neboli uskutočnené.



## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [3]

1. Aichi Quality. In: *Aichi Quality* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: [http://www.aichi-brand.jp/corporate/images/020\\_01.jpg](http://www.aichi-brand.jp/corporate/images/020_01.jpg)
2. Prospect machine products. In: *Prospect machine products* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.pmpdeepdraw.com/wp-content/uploads/2013/11/automotive-metal-stamping.jpg>
3. *Citace PRO* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>
4. *Alfun: metal service center* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/ocel/plechy-a-pasy-valcovane-za-studena-elektrolyticko-pozinkovane>
5. It bohemia: Plechy válcované za studena [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.itbohemia.cz/hutni-material/plechy-valcovane-za-studena/>
6. *European Steel and Alloy Grades: Steel Number* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=202](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=202)
7. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 245 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
8. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-3425-7.
9. Jones - Metal Products Company: Hydroforming process. In: *Jones - Metal Products Company* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.jmpforming.com/hydroforming/hydroforming-process.htm>
10. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
11. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971, 544 s. ISBN 04-234-71.
12. SRP, Karel. *Základy lisování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 248 s. ISBN 04-239-65.
13. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ: tažení plechu* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2018-03-30]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20PLECHU.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20PLECHU.pdf)
14. SIEGERT, Klaus a Stefan WAGNER. TALAT Lecture 3704: Deep Drawing. *CORE materials* [online]. Universität Stuttgart: Institut für Umformtechnik, 1994, s. 15 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2212>
15. TSCHÄTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, 2006, 405 s. ISBN 35-403-3216-2.
16. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990, 200 s. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
17. *The library of manufacturing* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: [http://thelibraryofmanufacturing.com/deep\\_drawing.html](http://thelibraryofmanufacturing.com/deep_drawing.html)

18. Technologie plošného tváření - tažení. *Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2018-03-30]. Dostupné z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm)
19. MISUMI CORPORATION. Technical Tutorial. *Misumi Technical Tutorial* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.misumi-techcentral.com/tt/en/press/2010/05/042.html>
20. Euscher: Expertise: Reverse-drawing. In: *Euscher* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.euscher.com/en/expertise/>
21. HUDÁK, Juraj. *Spätné ťahanie veľkoplošných výliskov* [online]. 2007 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/10-2007/pdf/218-225.pdf>
22. NARAYANASAMY, Ramaswamy. Deep drawing. *Slideshare* [online]. 2015 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z:  
<https://www.slideshare.net/DrRamaswamyNarayanas/drrnarayanasamy-power-point-on-deep-drawing>
23. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K. *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. Brno, 9/2006, s. 76 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm)
24. ČSN 22 7301. *Tažení dutých válcových výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1969, 16 s.
25. ČADA, Radek. *Postup údržby I: Studijní opora* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 278 s. [cit. 2018-04-13]. ISBN 978-802-4815-060. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PU1/Postupy-udrzby-I.pdf>
26. ŠPINLEROVÁ, Marie. *Technologie* [online]. Střední škola technická Opava, 2007, 83 s. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
27. *Cup drawing or deep drawing* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z:  
[http://nptel.ac.in/courses/112106153/Module%208/Lecture%201/Module\\_8\\_SheetMetalDrawing-Lecture\\_1.pdf](http://nptel.ac.in/courses/112106153/Module%208/Lecture%201/Module_8_SheetMetalDrawing-Lecture_1.pdf)
28. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004, 219 s. ISBN 0831131829.
29. *Výroba součástí ohýbáním a tažením: protokol k cvičení* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/5te\\_\\_technologie\\_2\\_\\_cviceni\\_2\\_zadani\\_2017.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/5te__technologie_2__cviceni_2_zadani_2017.pdf)
30. Bliss-Bret. *Bliss-Bret* [online]. Belgium [cit. 2018-04-11]. Dostupné z:  
<http://www.bliss-bret.com/sk/produkty/hydraulicke-produkcne-lisy>
31. Mechanické lisy. *Technologie, stroje a zařízení* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/S/S19.pdf>
32. EN 10131. *Cold rolled uncoated and zinc or zinc-nickel electrolytically coated low carbon and high yield strength steel flat products for cold forming - Tolerances on dimensions and shape*. EÚ: CEN, 2006, 12 s. Dostupné také z: <http://www.seven-diamonds.com/media/pdf/standards/14.pdf>
33. *Dieffenbacher CZ: tvářecí stroje - reference* [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/27674914-Dieffenbacher-cz-tvareci-stroje-reference.html>

34. Mold technology: Deep Drawing. In: *Mold technology* [online]. 2011 [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://mold-technology4all.blogspot.cz/2011/08/deep-drawing.html>
35. Fichema. In: *FICHEMA s.r.o.* [online]. [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <http://www.fichema.cz/>
36. Get Kaung: Metal Deep Drawing of Car Panel. In: *Get Kaung* [online]. 2015 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.getkaung.com.tw/mobile/metal-deep-drawing/metal-deep-drawingof-car-panel.html>
37. *Quia: conventional spinning* [online]. In: . [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.quia.com/jg/1961543list.html>
38. Techminy: Metal Deep Drawing Process of Sheet metal forming. In: *Techminy.com* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://techminy.com/metal-deep-drawing-process>
39. ITWDrawform: Product Features. In: *ITWDrawform* [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.itwdrawnmetals.com/product-features/default.html>
40. Šmeral Brno a.s.: Klikové lisy. *Šmeral Brno a.s.* [online]. 2017 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: [http://www.smeral.cz/klikove\\_lisy.html](http://www.smeral.cz/klikove_lisy.html)
41. SANTOS, Martin Watson and Robert Dick and Y. Helen Huang and Andrew Lockley and Rui Cardoso and Abel. Benchmark 1 - Failure Prediction after Cup Drawing, Reverse Redrawing and Expansion Part A:. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016, **734**(2), 022001. ISSN 1742-6596. Dostupné také z: <http://stacks.iop.org/1742-6596/734/i=2/a=022001>
42. AFSHIN, Ehsan a Mehran KADKHODAYAN. An experimental investigation into the warm deep-drawing process on laminated sheets under various grain sizes. *Materials & Design*. 2015, **87**, 25-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.061>. ISSN 0264-1275. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127515301301>

## ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Popis	Jednotka
$A_t$	práca pri ťahaní	[J]
$D$	priemer prístrihu	[mm]
$d$	priemer výťazku	[mm]
$d_1$	priemer výťazku v 1. ťahu	[mm]
$d_2$	priemer výťazku po 2. ťahu	[mm]
$d_3$	priemer výťazku po 3. ťahu	[mm]
$d_i$	priemer výťazku v i-tom ťahu	[mm]
$d_{s1}$	stredný priemer výťazku v 1. ťahu	[mm]
$D_{vyp}$	priemer zistený výpočtom	[mm]
$F_c$	celková sila	[N]
$F_{c1}$	celková sila v 1. ťahu	[N]
$F_{max}$	sila potrebná pre utrhnutie dna	[N]
$F_p$	sila od pridržiavača	[N]
$F_{p1}$	sila od pridržiavača v 1. ťahu	[N]
$F_t$	ťažná sila	[N]
$F_v$	sila od vyhadzovača	[N]
$h$	výška výťazku	[mm]
$h_1$	výška výťazku v 1. ťahu	[mm]
$h_2$	výška výťazku v 2. ťahu	[mm]
$h_3$	výška výťazku v 3. ťahu	[mm]
$h_h$	hlĺbka výťazku (pracovný zdvih lisu)	[mm]
$h_i$	výška výťazku v i-tom ťahu	[mm]
$K$	stupeň ťahania	[-]
$K_1$	stupeň ťahania v 1. ťahu	[-]
$K_{1D}$	dovolená hodnota stupňa ťahania pre 1. ťah	[-]
$K_2$	stupeň ťahania v 2. ťahu	[-]
$k_{Ao}$	opravný koeficient rešpektujúci pracovný diagram	[-]
$K_C$	celková hodnota stupňa ťahania	[-]
$K_{k1}$	koeficient k stanoveniu ťažnej medzery pre prvý a ďalšie ťahy	[-]
$K_{k2}$	koeficient k stanoveniu ťažnej medzery pre posledný ťah	[-]
$K_{k3}$	koeficient k stanoveniu ťažnej medzery pre kalibrovanie	[-]
$K_n$	stupeň ťahania v n-tom ťahu	[-]
$K_{nD}$	dovolená hodnota stupňa ťahania pre n-tý ťah	[-]
$k_{o1}$	opravný silový súčiniteľ pre 1. ťah	[-]
$k_p$	koeficient pre určenie potreby pridržiavača	[-]
$K_S$	stredná hodnota stupňa ťahania v ďalších ťahoch	[-]

$m$	súčiniteľ ťahania	[-]
$m_1$	súčiniteľ ťahania pre 1. ťah	[-]
$m_{1D}$	dovolená hodnota súčiniteľu ťahania pre 1. ťah	[-]
$m_2$	súčiniteľ ťahania pre 2. ťah	[-]
$m_{2D}$	dovolená hodnota súčiniteľu ťahania pre 2. ťah	[-]
$m_C$	celková hodnota súčiniteľu ťahania	[-]
$m_n$	súčiniteľ ťahania pre n-tý ťah	[-]
$m_{nD}$	dovolená hodnota súčiniteľu ťahania pre n-tý ťah	[-]
$m_t$	ťažná medzera	[mm]
$m_{t1}$	ťažná medzera v 1. ťahu	[mm]
$m_{t2}$	ťažná medzera v 2. ťahu	[mm]
$n$	počet častí tvoriacich výťazok	[-]
$p$	tlak volený podľa druhu materiálu	[MPa]
$p_p$	tlak pridržiavača	[MPa]
$R$	redukcia priemeru prístrihu	[%]
$r$	polomer zaoblenia	[mm]
$R_1$	redukcia priemeru prístrihu pri 1. ťahu	[%]
$Rm$	medza pevnosti v ťahu	[MPa]
$r_p$	polomer zaoblenia ťažnice	[mm]
$r_{p1}$	polomer zaoblenia ťažnice v 1. ťahu	[mm]
$r_{p2}$	polomer zaoblenia ťažnice v 2. ťahu	[mm]
$r_t$	polomer zaoblenia ťažníka	[mm]
$r_{t1}$	polomer zaoblenia ťažníka v 1. ťahu	[mm]
$r_{t2}$	polomer zaoblenia ťažníka v 2. ťahu	[mm]
$r_{ti}$	polomer zaoblenia ťažníka v i-tom ťahu	[mm]
$S_i$	plocha i-tej časti výťazku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{pol}$	plocha polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	prierez stenou vyťazku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{výť}$	plocha výťazku	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	hrúbka plechu	[mm]
$t_{max}$	horný medzný rozmer hrúbky materiálu	[mm]
$t_{min}$	dolný medzný rozmer hrúbky materiálu	[mm]
$v_t$	ťažná vôľa	[mm]
$w$	prídavok na odstrihnutie	[-]
$Z$	materiálová konštanta	[-]
$\sigma_t$	ťahové napätie	[MPa]

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha 1 Výrobný postup

## **ZOZNAM VÝKRESOV**

Výkres súčiastky BP-2018-04-001